سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷ - گیلان

تغییر ساختار در شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم مورچگان

مرتضی عباس‌قربانی* دکتر سید حسین حسینیان علی جهانبانی اردکانی** دکتر بهروز وحیدی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

*morteza1526@yahoo.com, **ali_jahanbani@aut.ac.ir

چکیده : توزیع بهینه بار بین فیدرهای مختلف پست‌های توزیع یک از مهمترین و کم هزینه ترین روش‌ها جهت کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع می‌باشد. برای این منظور باید وضعیت کلیدهای شبکه (باز/بسته) به‌گونه‌ای تعیین شود که بار از روی فیدرهایی که اضافه بار دارند به فیدرهای کم بارتر منتقل شود و در ضمن قیدهای بهره‌برداری نیز لحاظ شوند. در این مقاله از الگوریتم مورچگان برای حل این مساله استفاده شده است. در این الگوریتم مورچه‌های مصنوعی قادر هستند تا از طریق اطلاعاتی که به شکل فرومون بر روی مسیرهای طی شده توسط آن‌ها ریخته می‌شود, جواب بهینه را بیابند. در این مقاله یک استراتژی جدید برای انتخاب کلیدتوسط مورچه‌ها پیشنهاد شده است. در انتها برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی یک شبکه ۷۰ شینه مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج بدست آمده با نتایج یکی از الگوریتم‌های قوی موجود در این زمینه مقایسه شده است.

مقدمه:

به دلیل ملاحظات اقتصادی, هدف بسیاری از تحقیقات انجام شده در زمینه اتوماسیون سیستم‌های توزیع, پیداکردن پیکربندی‌ای با حداقل میزان تلفات در این شبکه‌ها می‌باشد. بارهای شبکه‌های توزیع ترکیبی از بارهای صنعتی, تجاری و مسکونی می‌باشند و پروفیل این بارها نیز از زمانی به زمان دیگر تغییر می‌کند و در نتیجه باعث می‌شود در یک دوره زمانی مقدار خیلی زیادی از بار توسط بخشی از شبکه توزیع تامین شده و در بقیه اوقات میزان خیلی کمتری از بار توسط این بخش تامین شود. به همین دلیل به کمک تعیین, ساختار بهینه شبکه توزیع در هر سطح بار مشخص از شبکه و انتقال بار بین فیدرها می‌توان از ایجاد اضافه بار در فیدرها جلوگیری نمود و جریان بار نیز به صورت مناسب‌تری بین فیدرها تقسیم کرد به طوری که تلفات شبکه حداقل شود. در حین روند تغییر ساختار در شبکه‌های توزیع که به کمک تعیین وضعیت کلیدهای شبکه (باز/بسته) تعیین می‌شود بایستی قیدهای زیر در نظر گرفته شوند: ۱)ساختار شعاعی شبکه‌های توزیع باید حفظ شود; ۲)تمامی بارهای شبکه باید تامین گردند; ۳)جریان عبوری از خطوط و ولتاژ باس‌ها بایستی در محدوده مجاز باشد. از آنجایی تعداد حالت‌های ممکن برای سوئیچینگ در شبکه بسیار زیاد می‌باشد امکان تست تمامی حالت‌ها وجود ندارد به همین دلیل تا به حال روش‌های مختلفی برای حل این مساله در یک زمان قابل قبول ارائه شده است. در [۱] , [۲] از روش تغییر شاخه استفاده شده است. در این روش با استفاده از تعدادی فرضیات فرمولی برای تغییر تلفات شبکه به ازای انجام هر کلیدزنی در شبکه پیشنهاد شده است. در [۳] , [۴] از یک روش ذهنی پیشنهاد می‌شود که قادر است پیکربندی بهینه یا نزدیک به بهینه شبکه را در مدت زمان بسیار کوتاهی بیابد. در روش پیشنهادی ابتدا تمامی کلیدهای شبکه بسته شده و یک شبکه مش ایجاد می‌گردد

و سپس در هر مرحله یک برنامه پخش بار بهینه اجرا می‌شود و یک کلید جهت حذف یکی از حلقه‌های شبکه انتخاب می‌گردد. این روند تا زمانی که تمامی حلقه‌های شبکه حذف شوند, ادامه می‌یابد.

در این مقاله از الگوریتم مورچگان جهت حل این مساله استفاده شده است. الگوریتم مورچگان اولین بار در رساله دکترای آقای دریگو مطرح شد. این الگوریتم از رفتار طبیعی مورچه‌ها در حین حرکت بین محل غذا و خانه آنها الهام گرفته شده است. همانطوری که می‌دانیم مورچه‌ها کوتاهترین مسیر را بین منبع غذا و محل زندگی خود طی می‌کنند و این کار نیز به کمک مادهای شیمیایی به اسم فرومون انجام می‌شود که مورچه‌ها در حین حرکت بر روی مسیر عبور خور می‌ریزند. همچنین مورچه‌ها همواره به سمت مسیرهایی که دارای فرومون بیشتری دارد گرایش پیدا می‌کنند. این رفتار در الگوریتم مورچگان به صورت ۳ قانون زیر فرمول‌بندی شده است [۵] ۱) قانون تغییر وضعیت; ۲)بروزرسانی فرومون به صورت محلی; ۳) بروزرسانی فرومون به صورت کلی.

تا به حال در سیستم‌های قدرت, الگوریتم مورچگان برای حل مسائلی مانند برنامه‌ریزی تولید [۶] , [۷] , تغییر ساختار در شبکه‌های توزیع [۸-۱۰] و ... مورد استفاده قرار گرفته است.

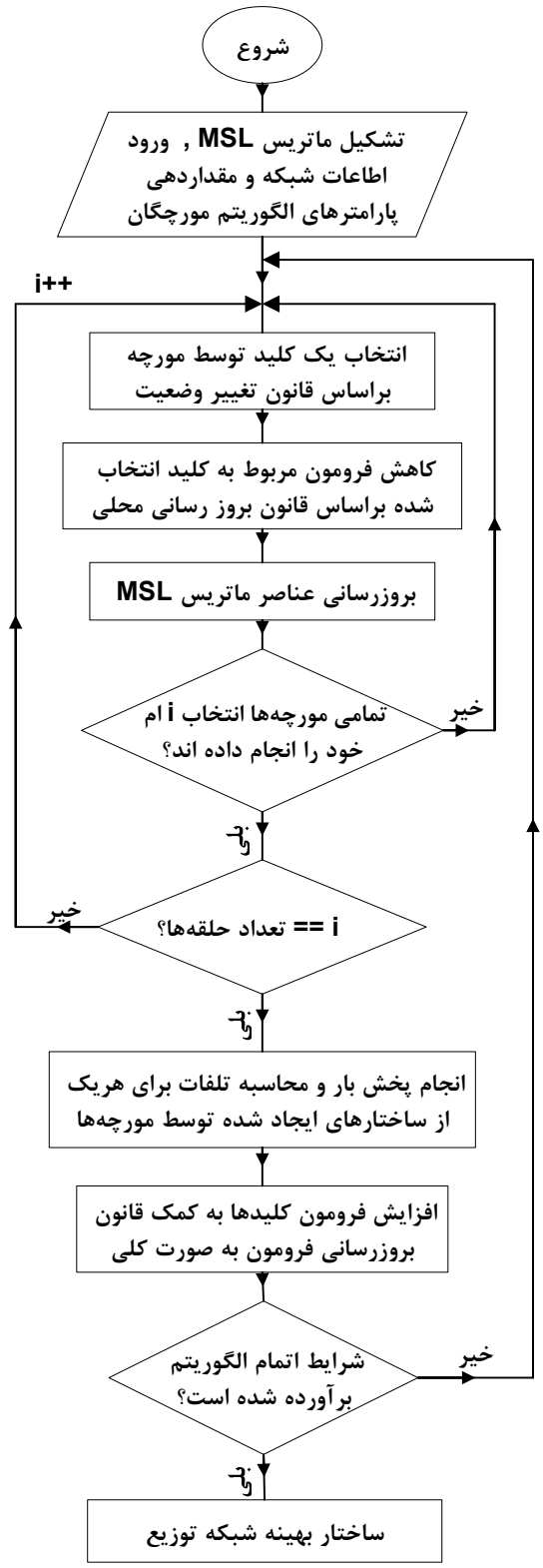
در انتها عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی دو شبکه ۱۶ و ۷۰ شینه آزمایش شده و نتایج حاصل از الگوریتم با نتایج روش پیشنهادی توسط آقای شیرمحمدی[۳] مقایسه شده است.

الگوریتم بهینه‌سازی :

دیاگرام بلوکی الگوریتم پیشنهاد شده در شکل ۱ نشان داده شده است و قسمت‌های مختلف آن در زیر به تفضیل تشریح می‌گردد.

روش انتخاب سوئیچ توسط مورچه:

ابتدا برای هر مورچه یک ماتریس MSL (Maneuverable Switch List) در نظر گرفته می‌شود و این ماتریس شامل تمامی کلیدهایی از شبکه می‌باشد که می‌توانند در فرآیند تغییر ساختار شبکه مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۱- الگوریتم بهینه سازی مورچگان

در حین تشکیل راه حل, در هر مرحله هر مورچه یک کلید از ماتریس MSL انتخاب می‌کند و در نتیجه آن یک حلقه از شبکه حذف می‌گردد و این روند تا شعاعی شدن شبکه و از بین رفتن تمامی حلقه‌ها ادامه می‌یابد. نحوه تعیین یک سوئیچ از ماتریس MSL در هر مرحله توسط مورچه‌ها مطابق رابطه (۱) می‌باشد:

$$ts = \begin{cases} \arg\max_{sw \in MSL}\{\tau_{sw}\} \; if \; q \le q_0 \\ J \qquad\qquad otherwise \end{cases} \qquad (۱)$$

به طوریکه q یک متغیر تصادفی نرمال در بازه [۰,۱] , q_0 $(0 \le q_0 \le 1)$ یک پارامتر, τ_{sw} میزان فرومون تخصیص پیدا کرده به هر کلید و J کلیدی است که به صورت تصادفی با تابع توزیع احتمال (۲) انتخاب می‌شود.

$$P_{sw} = \frac{\tau_{sw}}{\sum_{sw \in MSL} \tau_{sw}} \quad (۲)$$

همان‌طوری که مشخص است در (۲) احتمال انتخاب هر کلید با میزان فرومون مربوط به آن رابطه مستقیم دارد. به کمک رابطه (۱) و (۲) واضح است که با احتمال q_0 مورچه‌ها کلیدی را انتخاب می‌کنند که بیشترین فرومون را داشته باشد و با احتمال $(1-q_0)$, انتخاب خود را در بین سایر کلیدها انجام می‌دهد. به همین دلیل با تنظیم پارامتر q_0 می‌توان ناحیه جستجوی مورچه‌ها را وسیع کرد و یا اینکه ناحیه جستجو را نزدیک بهترین انتخاب تا به حال متمرکز نگه داشت.

بروزرسانی ماتریس MSL :

بعد از هر بار انتخاب یک سوئیچ از ماتریس MSL بایستی این ماتریس بروزرسانی گردد, این کار در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا کلید انتخاب شده بعلاوه تمامی کلیدهای متعلق به حلقه‌ی حذف شده, که با حلقه‌های دیگر مشترک نیستند از ماتریس MSL حذف می‌شوند. در مرحله دوم از یک الگوریتم بررسی اتصال شبکه استفاده می‌شود و به کمک آن کلیدهایی ا ز ماتریس MSL که حذف کردن آنها باعث از دست رفتن اتصال شبکه می‌گردد نیز از این ماتریس حذف می‌شوند. برای تشریح عملکرد الگوریتم بررسی اتصال شبکه فرض کنید که در شکل ۲ یک مورچه در انتخاب اول و دوم خود به ترتیب کلیدهای ۲ و ۴ را انتخاب کرده باشد به این ترتیب ابتدا کلیدهای {۲, ۱۴, ۸, ۶} و سپس کلیدهای {۳, ۴, ۱۶, ۱۳, ۱۲} از ماتریس MSL حذف می‌شوند در مرحله دوم علاوه بر کلیدهای حذف شده کلید شماره ۱ نیز از ماتریس MSL به کمک الگوریتم بررسی اتصال شبکه حذف خواهد شد چون با باز شدن این کلید بارهای قرار گرفته در باس‌های ۴ و ۶ از هیچ سمتی تغذیه نخواهند شد.

برخلاف روش ارائه شده در [۹] , استفاده از این روش انتخاب سوئیچ توسط مورچه‌ها باعث می‌شود احتمال انتخاب هر یک از ساختارهای شبکه برای مورچه وجود داشته باشد و در مورد شبکه‌های بزرگ و و دارای اتصالات داخلی زیاد این روش بسیار سودمند خواهد بود.

بروزرسانی فرومون به صورت محلی:

در حین فرآیند تشکیل مسیر و بعد از انتخاب یک کلید توسط هر مورچه میزان فرومون کلید مربوطه به کمک رابطه (۳) کاهش پیدا می‌کند.

$$\tau_{sw} \leftarrow (1-\varepsilon)\cdot\tau_{sw} + \varepsilon\tau_0 \qquad (۳)$$

در این رابطه $(0<\varepsilon<1)$ و τ_0 پارامترهایی ثابت هستند. τ_0 مقدار فرومون اولیه اختصاص یافته به کلیدها می‌باشد که یک مقدار خیلی کوچک برای آن در نظر می‌گیریم. استفاده از این رابطه باعث می‌شود که بعد از انتخاب یک کلید توسط مورچه میزان فرومون مربوط به آن کاهش یابد و در نتیجه سایر مورچه‌ها به سمت انتخاب سایر کلیدها تمایل پیدا می‌کنند و به این ترتیب فضای جستجوی الگوریتم افزایش می‌یابد.

بروزرسانی فرومون به صورت کلی:

بعد از هر تکرار زمانی که مورچه‌ها انتخاب‌های خود را انجام دادند از رابطه (۴) برای افزایش فرومون مربوط به کلیدها براساس میزان تلفات ساختارهای ایجاد شده توسط مورچه‌ها استفاده می‌شود.

$$\tau_{sw} \leftarrow (1-\rho)\cdot\tau_{sw} + \rho\cdot\sum_{j=1}^{m}\Delta\tau_{sw}^{j} \qquad (۴)$$

به طوری‌که:

$$\Delta\tau_{sw}^{j} = \begin{cases} \dfrac{f(s^j)}{\sum_{l=1}^{m} f(s^l)} & sw \in s^j \\ 0 & sw \notin s^j \end{cases} \qquad (۵)$$

در این رابطه $0<\rho\le 1$ ضریب تبخیر فرومون, m تعداد مورچه‌ها, s^j پیکربندی ایجاد شده برای شبکه توزیع توسط مورچه j ام و $f(s^j)$ تابعی است که با میزان تلفات

شـــبکه رابطـــه معکـــوس داشـــته و توســـط (۶) تعریـــف می‌گردد.[۱۰]

$$f(s^j) = 1.3/(1+e^{loss(s^j)}) \qquad (۶)$$

همان‌طوری که مشاهده مـی‌شـود اسـتفاده از (۶)–(۴) باعـث می‌شود فرومون مربوط به کلیدها در بازه [۰-۱] قرار بگیرد.

شرط توقف الگوریتم:

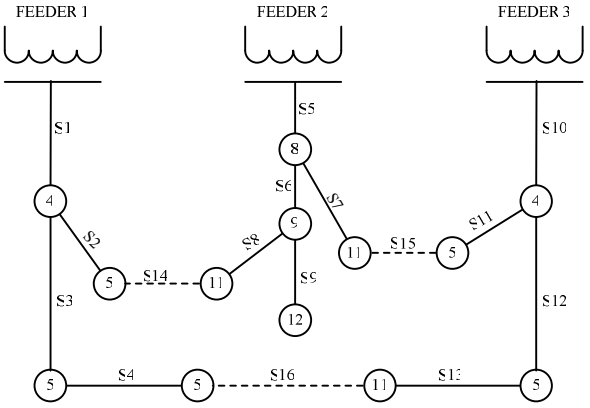
در صورت برآورده شدن هریک از شرایط زیر الگوریتم متوقـف خواهد شد: ۱) تعداد تکرارهای الگوریتم به بیـشترین مقـدار آن برسد. ۲) بیشترین تعداد تکرار بدون رسـیدن بـه جـوابی بهتر بدست آید. ۳) زمانی کـه همـه مورچـه‌هـا یـک مـسیر مشابه را طی کنند.

نتایج شبیه‌سازی:

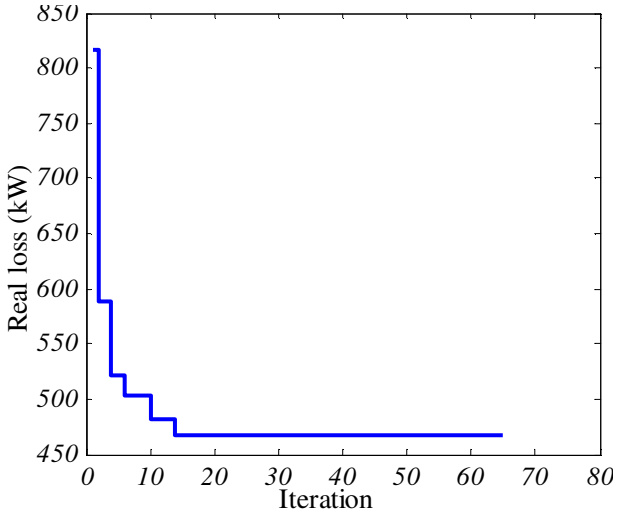
در این قسمت از دو شبکه ۱۶ و ۷۰ باسه برای بررسی عملکرد الگوریتم استفاده شده است. برای مقایـسه نتـایج, الگـوریتم مورچگان و روش پیشنهادی توسط آقـای شـیرمحمدی [۳] در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند.

مثال I:

شبکه نمونه اول یک شبکه ۱۶ باسه می‌باشد کـه در شـکل ۲ نشان داده شده اسـت و اطلاعـات آن در [۸] موجـود اسـت. کلیدهای باز در پیکربندی اصلی شبکه در شکل ۲ به کمـک خطوط نقطه‌چین نشان داده شده‌اند. بار کـل سیـستم برابـر ۲۸۷۰۰ کیلـو وات و ۲۸۶۰۰ کیلـو وار و تلفـات پیکربنـدی اصـلی شـبکه در حـدود ۵۱۳٫۵۶۷۰ کیلـو وات مـی‌باشـد. پارامترهای الگوریتم مورچگان برای این مساله به صورت زیر انتخـاب شـده‌انـد: تعـداد مورچـه=۶, q_0 =۰٫۶, ε= ۰٫۱۵, ρ = ۰٫۰۸. در شکل ۳ نمودار همگرایی الگوریتم مورچگان و در جدول ۱ نتایج عددی نشان داده شده اسـت. همـانطوری که مشخص است در این مورد الگوریتم مورچگان و الگوریتم آقای شیرمحمدی [۳] به نتایج مشابهی می‌رسند که در واقع بهترین جواب برای این شبکه نیز می‌باشد.



شکل ۲ – دیاگرام تک خطی شبکه توزیع ۱۶ شینه



شکل ۳ – نمودار همگرایی الگوریتم مورچگان در شبکه ۱۶ شینه

جدول ۱ – نتایج عددی شبکه ۱۶ شینه

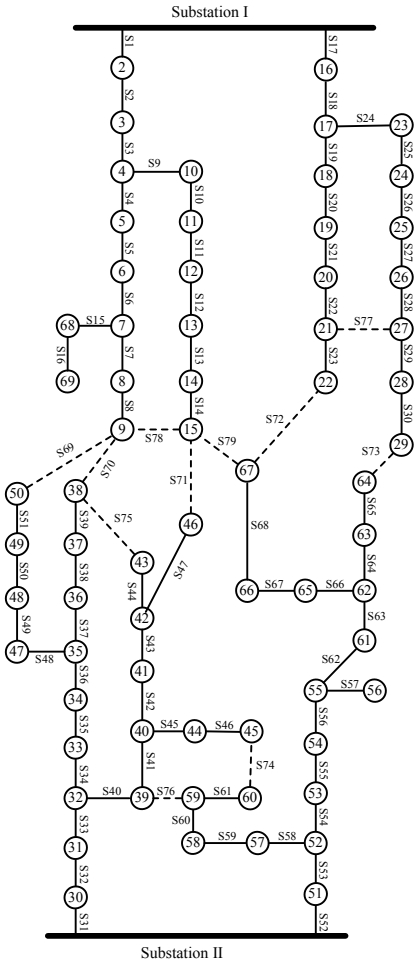
روش	خطوط خارج شده	تلفات شبکه (kW)	درصد کاهش تلفات
مورچگان	۱۶,۸,۷	۴۶۷٫۹۴۱۳۲	۸٫۸۸
شیرمحمدی[۳]	۱۶,۸,۷	۴۶۷٫۹۴۱۳۲	۸٫۸۸

مثال II:

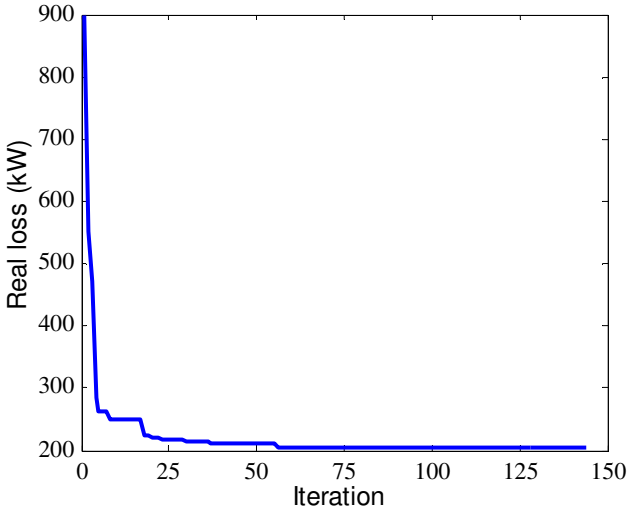
شبکه تست دوم یک شبکه ۷۰ باسه می‌باشد کـه در شـکل ۴ نشان داده شـده اسـت. کلیـدهای بـاز در پیکربنـدی اصـلی شبکه به کمک خطوط نقطه چین مشخص شده‌اند اطلاعات مربوط به خطـوط و بارهـای شـبکه در [۱۱] ذکـر گردیـده است. تلفـات پیکربنـدی اصـلی شـبکه در حـدود ۲۲۷٫۵۲۵ کیلووات می‌باشد.

پارامترهای الگوریتم مورچگان برای این مساله به صورت زیر انتخاب شده‌اند: تعداد مورچه=۱۰ , q_0=۰/۶, ε= ۰/۱۵, ρ = ۰/۰۸. نمودار همگرایی الگوریتم مورچگان در شکل ۵ نشان داده شده است و نتایج عددی حاصل از الگوریتم‌های مورچگان و شیرمحمدی به همراه نتایجی که در [۱۱] برای این شبکه بدست آمده در جدول ۲ ذکر شده‌اند. همان‌طوری که مشخص است به کمک الگوریتم مورچگان نسبت به سایر روشها جواب‌های بهتری را می‌توان بدست آورد.

پروفیل ولتاژ باسها قبل و بعد از انجام تغییر ساختار در شبکه به کمک الگوریتم مورچگان, در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطوری که مشخص است ولتاژ در اکثر باس‌ها بهبود پیدا کرده به طوری‌که حداقل مقدار ولتاژ قبل از تغییر ساختار در باس ۶۷ برابر ۰/۹۰۵۱۸ پریونیت بود در حالی که بعد از انجام تغییر ساختار این مقدار به ۰/۹۳۱۱۴ پریونیت در باس ۲۹ افزایش پیدا کرده است.



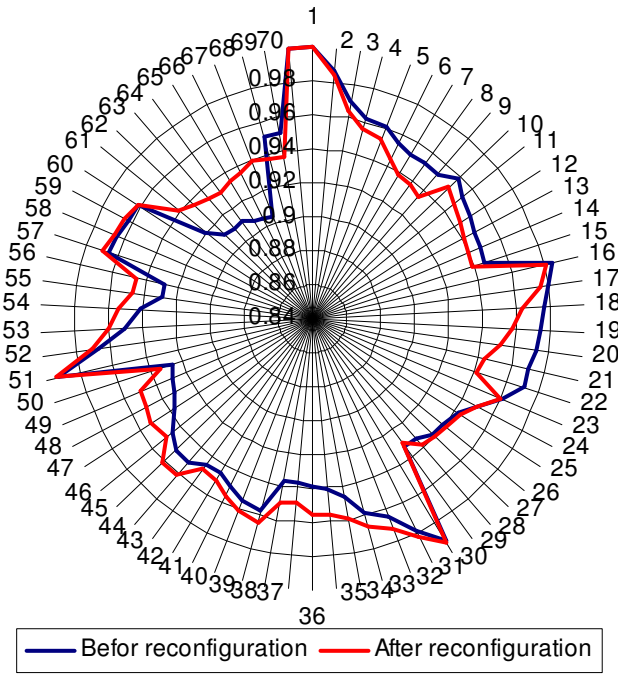
شکل ۴ - دیاگرام تک خطی شبکه توزیع ۷۰ شینه



شکل ۵ – نمودار همگرایی الگوریتم مورچگان در شبکه ۷۰ شینه

جدول ۲ – نتایج عددی شبکه ۷۰ شینه

روش	خطوط خارج شده	تلفات شبکه (kW)	درصد کاهش تلفات
مورچگان	[۷۶,۵۱,۷۰,۷۸,۷۹, ۶۶,۷۱,۴۵,۷۷,۳۸,۳۰]	۲۰۲/۶۵۸	۱۰/۹۲۹۳
شیرمحمدی[۳]	[۷۶,۵۱,۷۰,۷۸,۷۹,۶۷, ۷۳,۴۵,۷۸,۲۸,۱۴]	۲۰۳/۸۹۱	۱۰/۳۸۷۴
[۱۱]	[۷۶,۵۱,۷۰,۷۸,۷۹,۶۷, ۷۳,۴۶,۷۸,۲۸,۱۴]	۲۰۳/۹۲۵	۱۰/۳۷۲۵



شکل ۷ - پروفیل ولتاژ باس‌ها قبل و بعد از تغییر ساختار در شبکه به کمک الگوریتم مورچگان

نتیجه‌گیری:

در این مقاله از الگوریتم مورچگان برای تعیین ساختار بهینه شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات استفاده است. همانطوری که از نتایج آزمایشات پیداست الگوریتم مورچگان در زمینه حل مسائل گسسته بسیار توانمند می‌باشد و به کمک آن می‌توان به جوابی بهینه یا نزدیک به بهینه برای این مسائل دست یافت.

مراجع:

[1] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del*., vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223, Jul. 1988.

[2] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Del*. vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, Apr. 1989.

[3] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction," *IEEE Trans. Power Del*., vol. 4, no. 2, pp. 1492-1498, Apr. 1989.

[4] F. V. Gomes et al. "A new distribution system reconfiguration approach using optimum power flow and sensitivity analysis for loss reduction," *IEEE Trans. Power Syst*., vol. 21, no. 4, pp. 1616-1623, Nov. 2006.

[5] M. Dorigo and T. Stutzle, Ant Colony Optimization. Cambridge, MA:. MIT Press, 2004.

[6] S. J. Huang, "Enhancement of hydroelectric generation scheduling using ant colony system based optimization approaches," *IEEE Trans. Energy Conver*., vol. 16, no. 3, pp. 296-301, Sep. 2001.

[7] I. K.Yu, C. S. Chou and Y. H. Song, "Application of the ant colony search algorithm to search-term generation scheduling problem of thermal units," in Proc. *Int. Conf. Power Syst. Technol*., vol. 1, pp. 552-556, 1998.

[8] C.-T. Su, C.-F. Chang and J.-P. Chiou, "Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm," *Electric Power Syst. Research*, pp.190-199, Mar. 2005.

[9] T.Q.D Khoa and B.T.T. Phan, "Ant colony search-based loss minimization for reconfiguration of distribution systems," *Power India Conference 2006 IEEE*.

[10] A. Ahuja and A. Pahwa, "Using ant colony optimization for loss minimization in distribution networks," *Power Symposium, 2005 IEEE*.

[11] V.V.K. Reddy, M. Sydulu, "A Heuristic-Expert based Approach for Reconfiguration of Distribution Systems," *2007 IEEE*